第39卷　第5期
2022年9月
干　旱　区　研　究
ARID　ZONE　RESEARCH
Vol. 39　No. 5
Sep. 2022

国土空间功能演变及协同/权衡关系研究
——以内蒙古呼包鄂地区为例

冯琰玮，　甄江红

（内蒙古师范大学地理科学学院，内蒙古 呼和浩特　010022）

摘　要：国土空间面临资源利用粗放、生态环境破坏、区域发展失衡等问题，明晰国土空间功能有利于区域协调发展。以1990年、2000年、2010年、2018年为观测期，在分析呼包鄂地区国土空间功能演变特征的基础上，采用耦合协调度及双变量空间自相关模型对国土空间功能演变的协同/权衡关系进行评价。结果表明：近28 a，研究区生产/生活功能局地上升，空间分布呈现以各市辖区为高值中心、向外梯度递减的圈层/半圈层格局；生态功能有所下降，空间分布具有自然山水规模尺度依赖效应；国土空间功能耦合协调度整体上升，协同关系旗县数量增加，但整体水平较低，空间分异表现为生产-生活功能协同/权衡关系集聚分布；生产/生活-生态功能协同/权衡关系趋于离散；各功能协同/权衡关系空间耦合效应水平较低，国土空间功能亟需调整优化。

关键词：国土空间功能；三生空间；协同/权衡关系；呼包鄂地区

功能是具有特定结构的系统与外缘环境进行物质交换过程中所表现出的能力[1]。功能演变作为国土空间利用形态的重要表征，能够反映国土空间内部多利益攸关主体发展需求的满足程度[2-3]。国土空间是由多重功能组成的空间系统，将其分为生产、生活、生态是对国土空间的概念延伸[4]。其中，生产功能是将土地作为生产对象，或将土地作为生产载体投入产出各类产品及服务，它是生活、生态功能的物质基础，为生活质量提升与生态环境维护提供支持，但在扩展过程中会挤占生态功能[5]。生活功能作为人居环境重要载体，主要为人类提供居住、工作、通勤、娱乐等功能，它的提升需要生态功能来维持，同时生活功能的提高会强化生产功能扩张强度，而生活功能扩展也会挤占生产与生态功能[6]。生态功能是国土空间功能的基础，它拥有生产、生活功能正常运行所需的外部条件[7]。

国土空间功能识别常用直接归类法与定量评价法。前者根据地类主导功能直接将土地进行归并；后者则以土地多功能性为基础构建指标体系[8]，评价结果旨在对行政单元的主导功能进行解析[9]，或采用特定方法对土地服务价值进行测算[10]。随着地理信息技术应用成熟，多源数据的国土空间功能识别成为主流[11-12]，但受数据源限制使该方法无法对长时序功能演变进行评价。从以往的研究来看，快速工业化、城镇化等经济发达区备受关注，而针对生态脆弱区的国土空间主题研究相对不足。内蒙古呼包鄂地区（呼和浩特市、包头市及鄂尔多斯市）是典型的生态脆弱区和资源富集区，资源驱动是其主要经济增长模式之一，这使得经济建设与生态保护之间的矛盾尤为突出。此外，该区域受到黄河流域生态保护和高质量发展、中蒙俄经济走廊等多项中国国家政策支持，以呼包鄂地区为案例对于探讨生态脆弱区国土空间可持续发展具有较强的代表性和典型性。

只有国土空间功能之间相互配合、协调发展才能使国土综合效益最大化[13-14]，这种动态博弈反映了土地资源在功能间数量和空间上的再分配[15]。协同指国土空间功能间相互协作共同增益，以功能融合反映协调有序；权衡指各功能呈现此消彼长的胁迫关系，表现为功能空间的冲突与竞争，不同强度的功能变化使国土空间功能的协同与权衡关系交替演变[16]；常见协同/权衡关系测算方法有耦合协

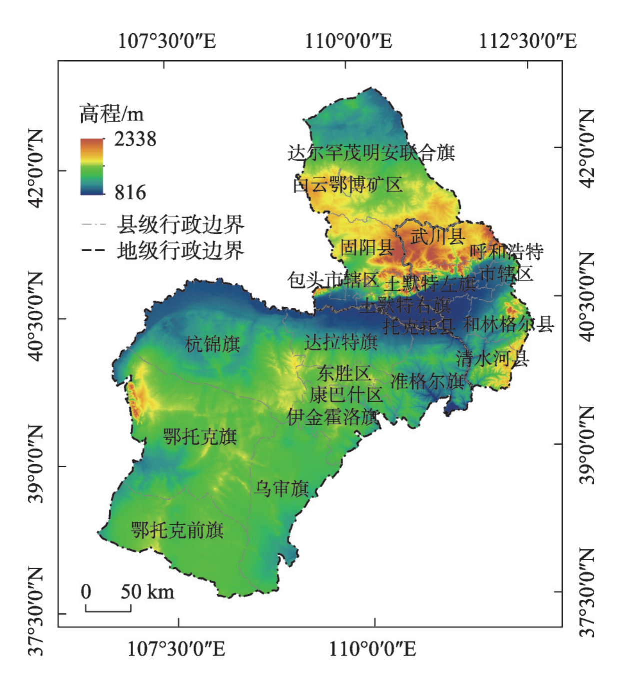
收稿日期：2021-11-29；　**修订日期：**2022-06-16
基金项目：国家自然科学基金项目（41761032, 41261109）；内蒙古自然科学基金项目（2016MS0410, 2020MS04003）
作者简介：冯琰玮（1994-），男，博士研究生，主要从事城市地理与区域发展研究. E-mail: fengyanwei123@icloud.com
通讯作者：甄江红. E-mail: zhenjianghong@sina.com

调模型[9]、力学平衡模型[17]、灰色关联模型[18]等，力学平衡模型的地理应用存在证明缺陷有待讨论；耦合协调、灰色关联模型相对成熟，对于研究复杂人地系统国土空间功能演变可行性较强。综上所述，本文以呼包鄂地区为案例，构建国土空间功能评价体系，分析生产、生活、生态功能的演变特征；采用耦合协调度及双变量空间自相关模型对国土空间功能演变的协同/权衡关系进行评价，以期为研究区国土空间开发保护提供基础，并为发展背景相似区域的国土空间功能研究提供借鉴。

1　研究区概况与方法

1.1　研究区概况

呼包鄂地区位于内蒙古中西部，地处37°37′~42°44′N和106°31′~112°17′E之间，辖呼和浩特市、包头市及鄂尔多斯市3个地级行政单位，面积近13.18×10⁴ km²（图1）。其地形以高原、中低山地为主，海拔816~2338 m之间；气候属于半干旱大陆性季风气候，降水少且变率大，水资源总量偏低。黄河干流自西向东南流经此地，组成形如"几"字的右半部结构。根据2018年土地利用类型，一级地类面积占比由高到低为：草地(59.42%)、未利用地(18.91%)、耕地(11.55%)、林地(4.26%)、建设用地



注：底图采用内蒙古自然资源厅标准地图制作，审图号为蒙S(2017)026号，对底图边界无修改。下同。

图1　研究区位置

Fig. 1　Location of study area

(3.72%)及水域(2.14%)，生态用地占绝对优势，国土空间开发以农牧、工矿生产为主。截止到2018年底，区域年末常住人口数809.35×10⁴人，常住人口城镇化率75.93%，地区生产总值为8512.68×10⁸元。该地区能源资源种类多样，煤炭、油气、铁矿、稀土资源富集，资源驱动型经济增长模式下的城镇化使得土地退化、环境污染等生态问题频发。

1.2　研究方法

1.2.1　*国土空间功能评价指标体系的构建*　宏观尺度下的国土空间可借助"三生"功能进行界定。生产功能空间是以提供工农业、服务产品为主导功能的区域；生活功能空间是提供人类居住、休闲为主导功能的区域；生态功能空间是提供生态产品服务为主导功能的区域[19]。从"生产-生活-生态"3个目标层自上而下构建国土空间功能评价指标体系，具体评价指标如表1所示。指标数据种类为多源数据，土地利用矢量数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心[20]，根据各地类的主导功能对其进行合并。生产功能用地包括耕地及工矿用地；生活功能用地包括城镇及农村居民用地；生态功能用地包括林地、草地、水域及未利用地。经济数据来源于内蒙古统计年鉴（1991—2019年），部分数据参照各地市统计年鉴进行补充完善。

生产功能是通过农业、工矿生产空间提供产品以增加社会财富。农牧产品为工业生产提供原料，工业生产能力提高将反馈于农牧业的生产效率，二者共同为区域发展提供经济效益，以粮食单产、人均粮食拥有量及人均畜产品产量表征粮食安全；以土地垦殖率、人均牧草面积、地均农林牧渔业产值及农业机械化水平表征农业生产的效率及强度；为客观反映地区生产效率，采用一系列建设用地地均指标表征非农业生产功能。生活功能以住房、医疗、教育条件为考察对象，以城镇村居民点用地占比、人均住房面积及交通用地密度表征居住交通承载能力；以二、三产业从业人口密度表征就业支撑能力；以人均邮电业务量、农村人均用电量、人均社会消费品零售总额及城乡居民收入平衡指数表征生活消费水平；以万人拥有卫生机构床位数及千人中小学生在校数表征医疗、教育的社会保障程度。鉴于研究区生态环境敏感脆弱，故以衡量区域生态安全水平的相关指标表征生态功能，具体指标包括自然灾害指数、耕地面源污染压力指数及景观生态风险指数表征生态风险水平；生物丰度指数、水网

表1 呼包鄂地区国土空间功能评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of land function evolution

目标层	指标层	指标单位	客观权重	主观权重	指标权重
生产功能	粮食单产	$t \cdot km^{-2}$	0.078	0.046	0.045
	土地垦殖率	%	0.132	0.046	0.077
	人均粮食拥有量	$t \cdot$人$^{-1}$	0.068	0.046	0.039
	人均牧草面积	$km^2 \cdot$人$^{-1}$	0.109	0.046	0.063
	人均畜产品产量	$t \cdot$人$^{-1}$	0.083	0.067	0.070
	地均农林牧渔业产值	10^4元$\cdot km^{-2}$	0.099	0.092	0.115
	农业机械化水平	$10^4 kW \cdot km^{-2}$	0.046	0.139	0.081
	建设用地地均第三产业产值	10^4元$\cdot km^{-2}$	0.091	0.139	0.16
	建设用地地均工业总产值	10^4元$\cdot km^{-2}$	0.07	0.126	0.111
	建设用地地均GDP	10^4元$\cdot km^{-2}$	0.075	0.081	0.077
	建设用地地均固定资产投资	10^4元$\cdot km^{-2}$	0.076	0.086	0.083
	建设用地地均一般财政收入	10^4元$\cdot km^{-2}$	0.073	0.086	0.079
生活功能	城镇村居民点用地占比	%	0.092	0.049	0.047
	人均住房面积	人$\cdot km^{-2}$	0.134	0.049	0.069
	交通用地密度	$km \cdot km^{-2}$	0.103	0.049	0.053
	二、三产业从业人口密度	人$\cdot km^{-2}$	0.182	0.083	0.158
	人均邮电业务量	10^4元$\cdot$人$^{-1}$	0.091	0.082	0.078
	农村人均用电量	$10^4 kW \cdot h \cdot$人$^{-1}$	0.037	0.164	0.064
	人均社会消费品零售总额	10^4元$\cdot$人$^{-1}$	0.124	0.164	0.213
	城乡居民收入平衡指数	–	0.108	0.164	0.186
	万人拥有卫生机构床位数	张$\cdot(10^4$人$)^{-1}$	0.037	0.098	0.038
	千人中小学生在校数	人$\cdot(10^3$人$)^{-1}$	0.092	0.098	0.094
生态功能	自然灾害指数	–	0.05	0.059	0.03
	生物丰度指数	–	0.085	0.117	0.102
	水网密度指数	–	0.142	0.117	0.17
	人均生态空间面积	$km^2 \cdot$人$^{-1}$	0.213	0.059	0.129
	林草覆盖率	%	0.095	0.059	0.057
	单位面积生态系统服务价值	10^8元$\cdot km^{-2}$	0.076	0.18	0.14
	生态弹性度	–	0.07	0.18	0.129
	植被净初级生产力	$g\ C \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$	0.148	0.111	0.168
	耕地面源污染压力指数	$t \cdot km^{-2}$	0.023	0.059	0.014
	景观生态风险指数	–	0.098	0.059	0.059

注:除自然灾害指数、耕地面源污染压力指数及景观生态风险指数为负向指标外,其余指标方向均为正向。

密度指数、人均生态空间面积、林草覆盖率及植被净初级生产力表征生态敏感程度;以单位面积生态系统服务价值及生态弹性度表征人类对生态空间的调控能力。

对部分指标的计算说明如下:(1)生产功能,粮食单产是粮食产量与耕地面积的比值;土地垦殖率是耕地面积与区域土地总面积的比值;农业机械化水平是农牧业机械总动力与耕地面积的比值。(2)生活功能,交通用地密度是公路里程与区域总面积的比值;城乡居民收入平衡指数是农民人均纯收入与城镇居民人均可支配收入的比值。(3)生态功能,耕地面源污染压力指数是耕地化肥与农药施用折纯量与耕地面积的比值;生物丰度指数、水网密度指数、自然灾害指数、单位面积生态系统服务价值、生态弹性度及景观生态风险指数详见参考文献[21];其余指标可根据含义直接计算。

1.2.2 国土空间功能演变的评价方法 为使评价结果科学合理,结合熵权法与层次分析法2种赋权方法以确定指标权重值。求解熵权是根据指标变异性的大小来确定指标客观权重,指标可提供的信息

量越丰富,其权重值就越高。与其他客观求取权重的方法(变异系数法、主成分分析法)相较,熵权法对指标有较好地区分能力,具体计算方法详见[22]。层次分析法则是一种对复杂现象决策思维过程系统化、模型化、数量化的研究方法,它可以通过一致性检验减少主观打分的影响,故在计算复杂系统的指标权重方面有一定优势,具体计算方法详见[23]。

对熵权法确定的客观权重与层次分析法确定的主观权重进行线性运算,得到国土空间功能各指标的权重值,计算公式如下:

$$\xi_j = \omega_j\mu_j \bigg/ \left(\sum_{j=1}^{n}\omega_j\mu_j\right) \tag{1}$$

式中:ξ_j为各指标的具体权重;ω_j为熵权法所确定的权重;μ_j为层次分析法确定的权重;j为各目标层的指标个数,j=1,2,3,···,n;各指标权重的计算结果如表1所示。最终采用线性加权构建国土空间功能综合评价模型,计算公式如下:

$$E_S = \sum_{j=1}^{n}\xi_j \times y_{ij} \tag{2}$$

式中:E_S是各目标层的功能值,S为各目标层,S=1,2,3;E_S值越大,相应目标层的功能水平就越高;y_{ij}是各指标的极差标准化结果。

1.2.3　国土空间功能协同/权衡关系的分析方法

(1) 耦合协调模型

在分析国土空间功能时空演变特征的基础上,构建功能耦合协调模型[24],3类系统(或系统内部要素之间)的耦合度模型如下式所示:

$$C = 3 \times \left\{\frac{(P_i \times L_i \times E_i)}{(P_i + L_i + E_i)^3}\right\}^{1/3} \tag{3}$$

式中:C为国土空间功能耦合度;P_i、L_i、E_i分别为生产、生活、生态功能评价值。耦合度虽可以表征各功能间的相互作用程度,但不能表明各功能间是低水平的相互制约还是高水平的相互促进,需引入耦合协调指数[25]构建模型,计算公式如下:

$$D = \sqrt{C \times T},\ \ T = \alpha P_i + \beta L_i + \gamma E_i \tag{4}$$

式中:D为国土空间功能耦合协调度;T为国土空间功能综合协调度;α、β、γ分别为3类功能的待定系数,参照相关研究[26]并结合专家意见,令α=0.35、β=0.35、γ=0.3。国土空间功能耦合协调度分为2种类型:权衡关系[0,0.5)及协同关系[0.5,1]。将权衡关系与协同关系采用等距分级分为5类,分级标准如表2所示。

(2) 空间自相关模型

双变量空间自相关只有2个变量,选择某一功能作为解释变量,另一种功能作为被解释变量,两两对比分析它们之间的空间协同/权衡关系。引入局部莫兰指数表征同一区域任意2种功能发生集聚状态的具体位置[27],其中相同集聚区(高高集聚H-H、低低集聚L-L)呈空间协同关系;异质集聚区(低高集聚L-H、高低集聚H-L)呈空间权衡关系,计算公式如下:

$$I_i = \frac{X_y^a - \overline{X}_y}{\sigma_y^2} \cdot \sum_{c=1}^{n}\omega_{ij} \cdot \frac{X_z^b - \overline{X}_z}{\sigma_z^2} \tag{5}$$

式中:I_i表示第i个地区的局部莫兰指数;X_y^a表示空间单元a的属性值y;X_z^b表示空间单元b的属性值z;ω_{ij}表示共边邻接权重矩阵;σ_y^2、σ_z^2表示属性值y、z的方差;$\overline{X}_y$、$\overline{X}_z$表示所有空间单元属性值y、z的均值。

2　国土空间功能演变时空分异特征分析

以1990年、2000年、2010年、2018年为观测点,根据公式(1)及公式(2)计算各时期生产、生活、生态功能值,据此分析国土空间功能演变特征。

2.1　生产功能时空分异特征

由图2a可知,各时期生产功能均值分别为0.08、0.1、0.23、0.25,各旗县生产功能均处于扩张态势,部分旗县生产功能呈波动上升的阶段特征。从

表2　耦合协调度划分标准

Tab. 2　Division standard of coupling coordination degree

类型	耦合协调度区间	协调等级	类型	耦合协调度区间	协调等级
权衡	[0,0.1)	极度失衡	协同	[0.5,0.6)	勉强协调
	[0.1,0.2)	重度失衡		[0.6,0.7)	初步协调
	[0.2,0.3)	中度失衡		[0.7,0.8)	中等协调
	[0.3,0.4)	轻度失衡		[0.8,0.9)	良好协调
	[0.4,0.5)	临界失衡		[0.9,1]	优质协调

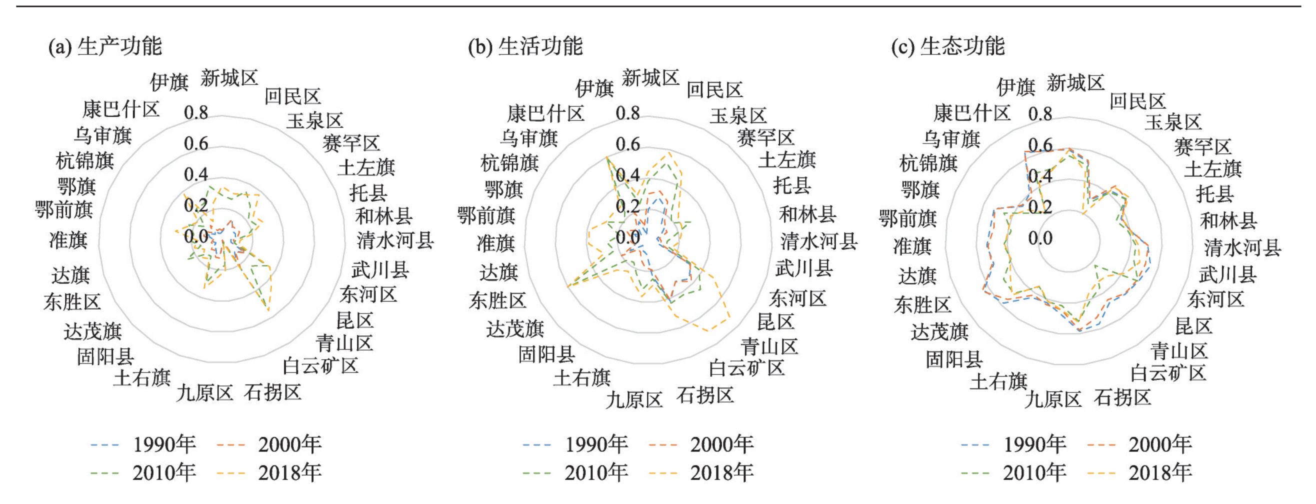


图2 1990—2018年呼包鄂地区各旗县国土空间功能演变

Fig. 2 Temporal differentiation of land function in the Hohhot-Baotou-Erdos region from 1990 to 2018

(a) 1990年

生产功能值
0.01~0.03
0.03~0.06
0.06~0.09
0.09~0.11
0.11~0.17

(b) 2000年

N

生产功能值
0.01~0.03
0.03~0.08
0.08~0.11
0.11~0.14
0.14~0.21

(c) 2010年

生产功能值
0.02~0.09
0.09~0.17
0.17~0.23
0.23~0.30
0.30~0.52

0 50 km

(d) 2018年

生产功能值
0.03~0.13
0.13~0.20
0.20~0.29
0.29~0.38
0.38~0.55

图3 1990—2018年呼包鄂地区生产功能自然分级空间分异

Fig. 3 Classification and spatial differentiation of production function in the Hohhot-Baotou-Erdos region from 1990 to 2018

生产功能各时期自然断点空间分异来看(图3),生产功能呈现出以各市辖区为高值中心、向外梯度递减的圈层/半圈层格局。1990—2000年生产功能高值呈条带状分布;2010年呼包鄂地区生产功能优势区形成三足鼎立的发展局面,区域生产功能迅速提升。生产功能高值区与低值区的差距逐渐拉大,高值区的引领性进一步增强,而低值区由于资源禀赋较差,发展"短板"明显,欠缺提升全局生产能力的拉动点。2010—2018年区域发展战略有所调整,鄂尔多斯市着力打造绿色能源化工现代能源基地,部分旗县生产功能有所下降,说明产业结构优化调整取得成效,生产功能发展趋于合理。

2.2　生活功能时空分异特征

由图2b可知,各时期生活功能均值分别为0.147、0.18、0.302、0.373,表明生活功能扩张强度明显高于生产功能,但生产功能的城镇化效应是生活功能提升的主要动力。从生活功能各时期自然断点空间分异来看(图4),生活功能同样呈现出以市辖区为中心向外圈层递减的分布规律。1990年生活功能高值区分布在包头市、呼和浩特市及其辖区;2000年市辖区周边旗县生活功能开始提升;2010年生活功能优势区呈面状迅速扩散,空间分布

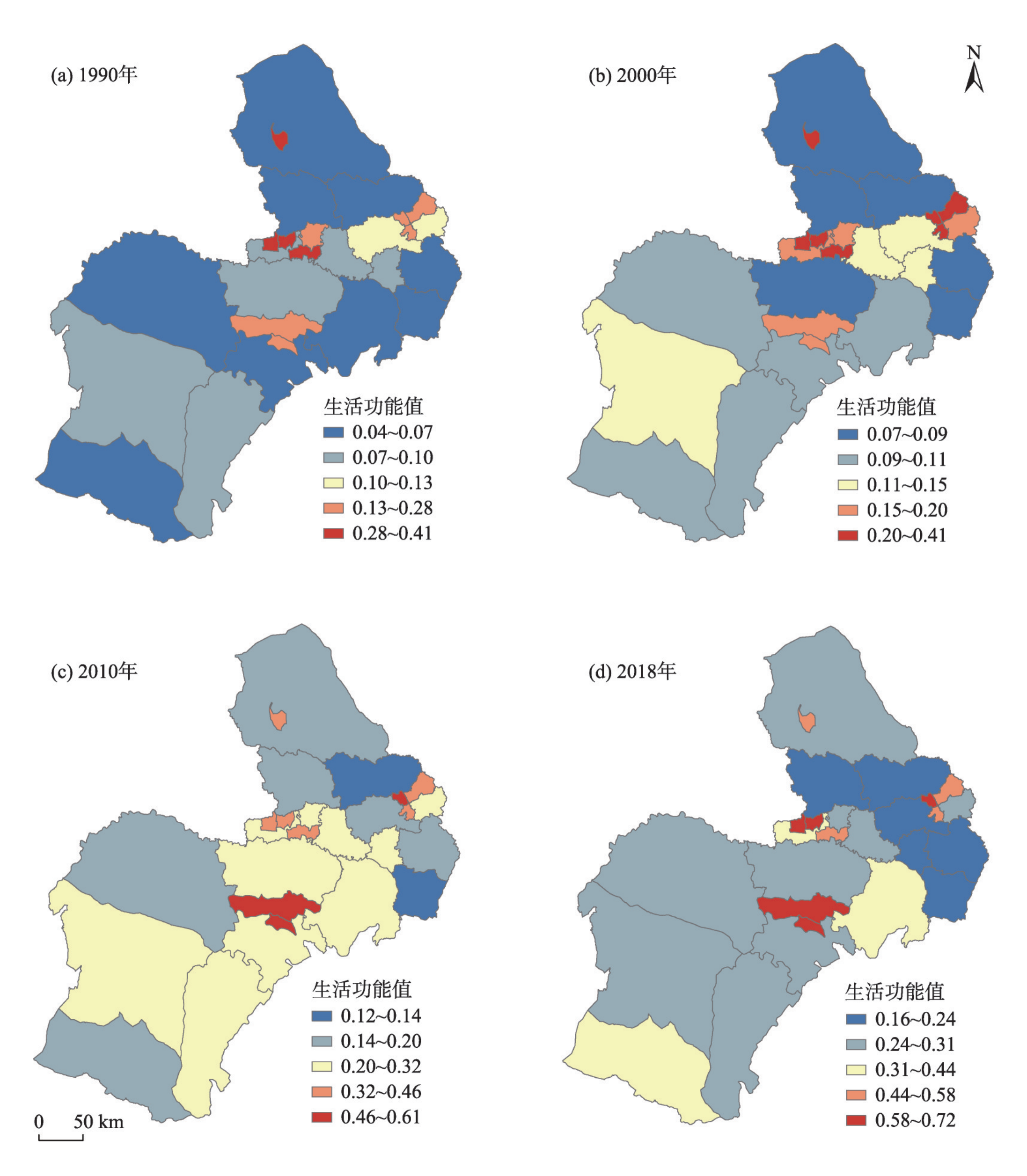


图4　1990—2018年呼包鄂地区生活功能自然分级空间分异

Fig. 4　Classification and spatial differentiation of living function in the Hohhot-Baotou-Erdos region from 1990 to 2018

呈现出与生产功能近似的中心-外围规律;2018年生活功能高值区基本稳定在市辖区,但生活功能优势区未能形成空间组团效应,说明多数旗县仍需提高自身生活功能水平。

2.3 生态功能时空分异特征

由图2c可知,各时期生态功能均值分别为0.496、0.49、0.412、0.41,生态功能整体处于下降态势。从生态功能各时期自然断点空间分异来看(图5),生态功能空间集聚具有自然山水的规模尺度依赖效应。1990年生态功能高值区集中分布在阴山中山、阴山北麓及鄂尔多斯荒漠草原区;生态功能劣势区主要集中在土默特平原东部、鄂尔多斯高原西北部及南部,这一空间分异在2000年更加明显;2010年生态功能整体退化,这与人类干扰强度上升直接相关;2018年包头市及其辖区生态功能优势下降明显,生态功能高值区主要集中在阴山中山及阴山北麓、鄂尔多斯高原中部及黄土高原水土保持区,其他地区无明显优势。

3 国土空间功能协同/权衡关系分析

3.1 国土空间功能协同/权衡关系时空分异特征

根据公式(3)及公式(4),计算国土空间功能耦合协调度,耦合类型空间分布如图6所示。整体来看,1990—2018年各旗县国土空间功能耦合协调度处于上升态势,时空分异较为明显。

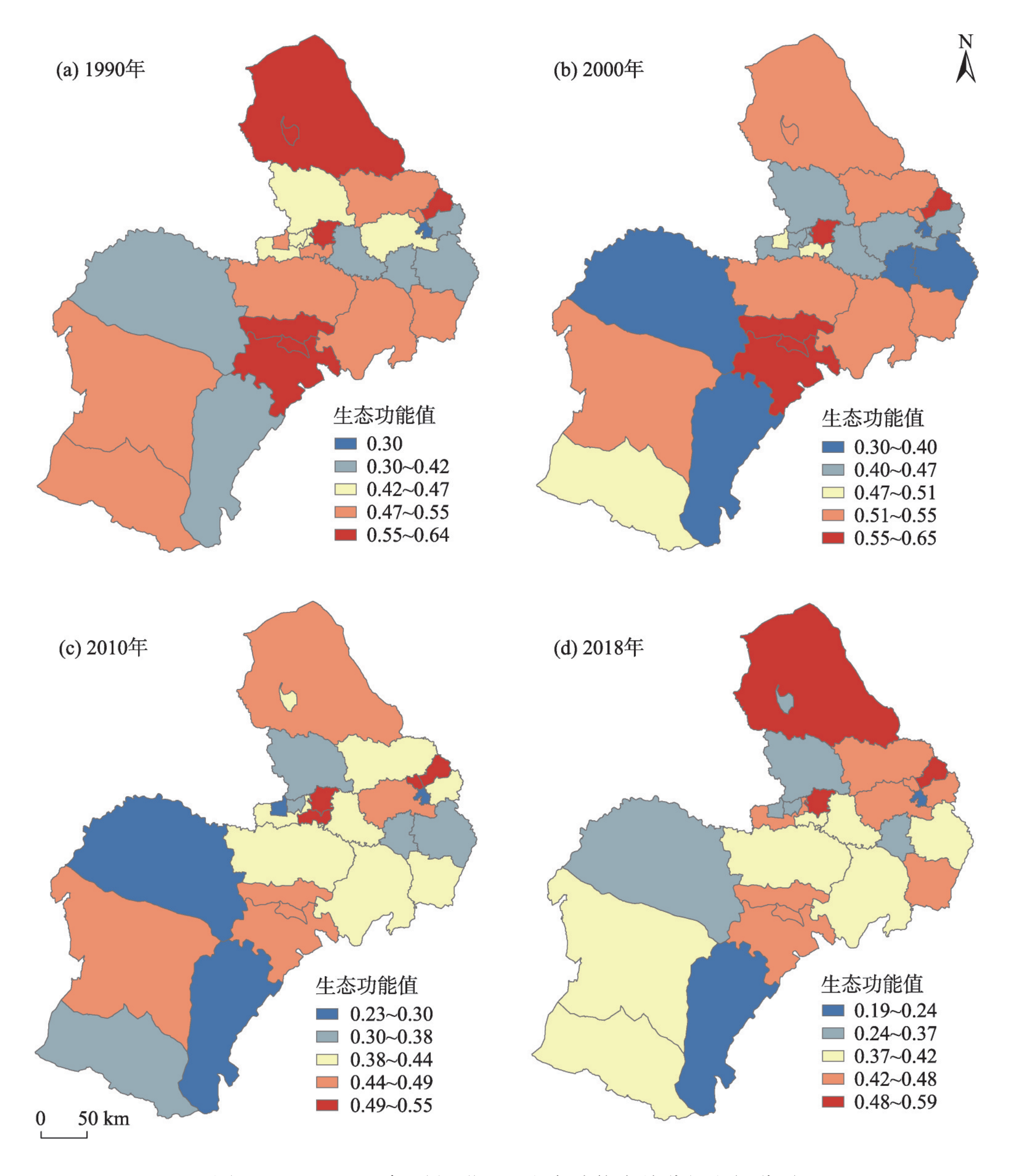


图5 1990—2018年呼包鄂地区生态功能自然分级空间分异

Fig. 5 Classification and spatial differentiation of ecology function in the Hohhot-Baotou-Erdos region from 1990 to 2018

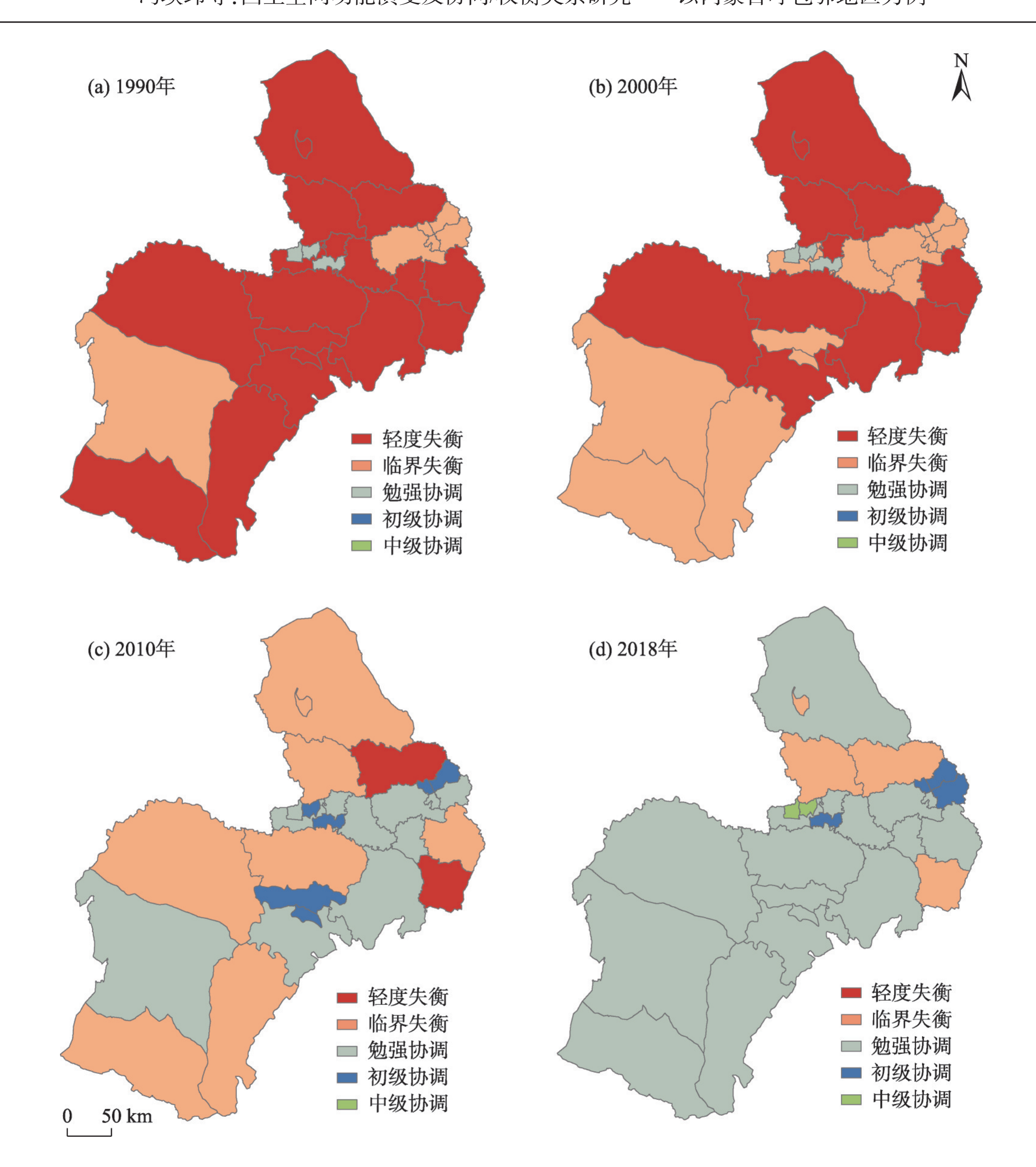


图6 1990—2018年呼包鄂地区国土空间功能耦合协调类型空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of land function coupling coordination types in the Hohhot-Baotou-Erdos region from 1990 to 2018

1990年研究区国土空间功能耦合协调度处于0.31~0.54之间。该时期研究区生产、生活功能处于较低水平,而生态功能基础良好,使得国土空间功能耦合协调度整体较差。从空间分布来看,协同关系集中分布在包头市南部辖区,而在权衡关系中轻度失衡处于主体地位;临界失衡主要分布在呼和浩特市及其辖区和土默特左旗,在表明呼和浩特市及其辖区和土默特左旗有良好合作基础的同时,亦可佐证该时段呼和浩特市有向西发展的愿景。

2000年研究区国土空间功能耦合协调度处于0.32~0.56之间,耦合协调类型未发生变化。权衡与协同关系的数量比例保持不变,协同关系未能发挥区域极化效应。从空间分布来看,协同关系空间分布变化不大。土默特平原临界失衡区已连片,地理区位优势显现。此外,东胜区、鄂托克旗、鄂托克前旗及乌审旗临界失衡呈连片趋势,区域合作发展初见端倪。

2010年国土空间功能耦合协调度处于0.39~0.66之间,耦合协调协同/权衡关系区域分化明显。从空间分布来看,协同关系初级协调出现新的极化中心,而权衡关系则联结形成4片区域:阴山北麓权衡区、黄土高原水土保持权衡区、鄂尔多斯高原西北部权衡区及其南部欠发达权衡区,权衡关系归因为区域发展动力不足及生态功能约束日益趋紧,经

济发展与环境保护的拮抗作用加剧。

2018年国土空间功能耦合协调度进一步提高，其值处于0.41~0.71之间。从空间分布来看，协同关系分布较广，但总体以勉强协调为主；初级协调以上水平主要分布在呼和浩特市辖区及包头市辖区。权衡关系临界失衡主要分布在阴山北麓及黄土高原边缘区，而导致权衡关系稳固的主要原因是这类旗县多数依托自然基底发展，生产功能因产业结构单一或动力不足，欠缺全局带动能力，生活功能发展滞后，生态功能亦欠缺调控恢复能力，导致耦合协调度水平不高。

3.2 国土空间功能协同/权衡关系空间耦合特征

为进一步分析国土空间功能协同/权衡关系的空间异质性，根据公式(5)，借助GeoDa工具分别计算国土空间生产、生活、生态功能双变量空间自相关指数，双变量聚类结果如图7所示。整体来看，生产-生活功能协同/权衡关系空间分布集聚效应显著；生产-生态功能协同/权衡关系空间分布趋于离散；生活-生态功能协同/权衡关系空间分布与生产-生态功能趋同。

具体来看，根据图7a、图7d、图7g、图7j，1990—2018年生产功能与生活功能的全局莫兰指数均为正值(0.247、0.167、0.114、0.117)，说明二者空间分布存在正相关关系，生产功能高值(低值)与生活功能高值(低值)近邻分布。从二者的局部空间自相关关系来看，生产功能与生活功能的协同关系只存在高高集聚，权衡关系存在高低集聚与低高集聚；根据图7b、图7e、图7h、图7k，1990—2018年生产功能与生态功能的全局莫兰指数为负值(-0.073、-0.063、-0.106、-0.113)，说明生产功能高值(低值)与生态功能低值(高值)近邻分布。从二者的局部空间自相关关系来看，生产功能与生态功能的4种协同/权衡类型均存在；根据图7c、图7f、图7i、图7l，1990—2018年生活功能与生态功能的全局莫兰指数为负值(-0.012、-0.031、-0.075、-0.054)，说明生活功能高值(低值)与生态功能低值(高值)近邻分布。从二者的局部空间自相关关系来看，协同关系存在高高集聚与低低集聚，权衡关系只存在低高集聚。

4 讨 论

呼包鄂地区生产、生活功能持续扩大，生态功能有所萎缩，可见生产功能仍处于要素驱动与规模扩张的阶段，集约利用程度不高，国土空间功能发展需严格限制因生产功能扩张而压缩生态功能的现象。笔者和相关学者，对区域国土空间主导功能发展脉络认知相同[28]，即国土空间功能整体呈生产、生态功能波动变化、生活功能扩大。这是由于资源富集区生产加工具有周期性，这一变化会对生态功能造成正负两方面效应，而生活功能会随着建设用地扩张、城镇化推进不断改善。研究区生活功能虽处于扩张态势，但多数旗县生活与生产功能存在差距，若存在对生态功能侵扰的现象，将不利于区域可持续发展。此外，近28 a研究区国土空间利用方式较为粗放，区域生态问题突出，在资源环境约束日益趋紧背景下，实现生态优先、绿色发展为导向的高质量发展成为关键，亟需构建高品质国土空间开发保护新格局。因此，未来研究可基于区域国土空间功能演变特征，因地制宜、因时施策、有序协调国土空间优化方向。同时可立足资源环境承载力评价及国土空间开发适宜性评价对国土空间开发格局进行优化。此外，应进一步深化大数据应用下的国土空间功能识别，以便对国土空间差异化实现纵深管控。

基于结论并结合研究区实际，本文特提出几点针对性发展建议：(1) 从生产功能来看，呼包地区是重要的农牧生产基地，应发展农牧结合、粮草兼顾、生态循环的用地模式。此外，该地区也是重要的能源加工、装备制造及新兴产业发展基地，应不断调整产业结构布局，保障产业发展需求。从生活功能来看，可充分发挥两市辐射带动作用，进一步打造多元宜居的城镇空间，不断完善城镇服务功能与承载能力。从生态功能来看，应重点开展沙化耕地、退化草原治理、优化水资源利用等工作。(2) 从生产功能来看，对于鄂尔多斯中部地区，由于该地土地盐碱化较为突出，应大力推广节水农业，提升灌溉水利用效率。此外，该地区煤炭资源禀赋较为突出，需保障资源高效且有限开发利用，推动能源资源精深加工。从生活功能来看，该地区城镇化起步较晚但发展迅速，可依托鄂尔多斯市省域副中心城市地位共同推进中小城镇据点开发。从生态功能来看，该区主要面临斑块破碎、矿山修复、草地退化等问题，对其调控可全面推进绿色矿山建设。(3) 从生产功能来看，鄂尔多斯西部、南部地区可充分发

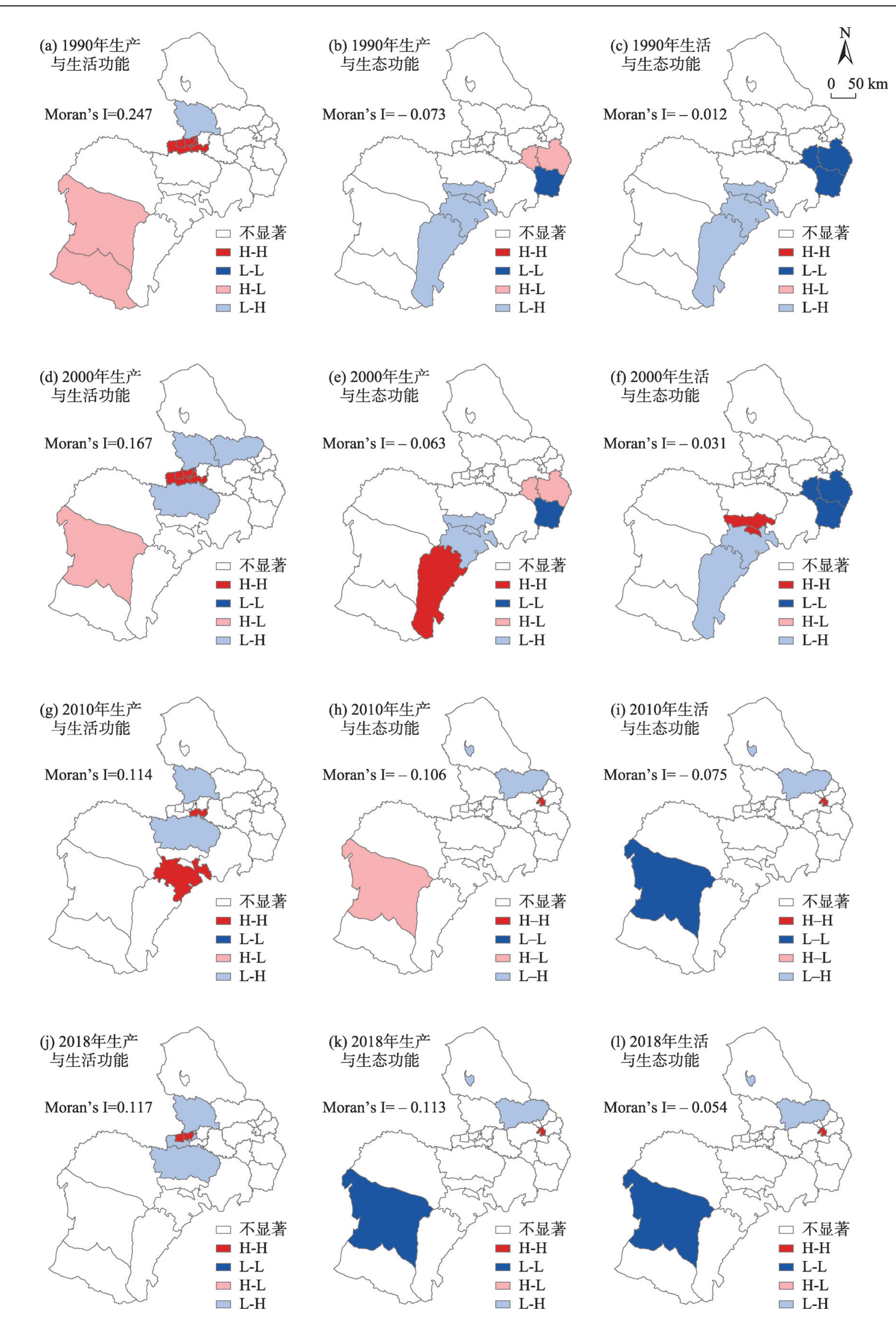


图7 1990—2018年呼包鄂地区国土空间功能双变量空间自相关聚类

Fig. 7 Bivariate spatial autocorrelation LISA clustering of land function in the Hohhot-Baotou-Erdos region from 1990 to 2018

挥其畜牧生产功能,严格控制草原载畜量。从生活功能来看,该地区人居环境质量整体偏低,可鼓励建设特色城镇,开展农村牧区人居环境整治。从生态功能来看,该地区应充分发挥荒漠草原生态系统功能,减少对沙漠、沙地人为干扰。(4) 从生产功能来看,阴山北麓地区农牧生产可重点发展特色产品,积极推广退耕还林还草。此外,该区工矿生产潜力突出,应合理安排稀土开采布局,培育创新企业增长极。从生活功能来看,白云鄂博应着力打造宜居宜业的现代化城镇。从生态功能来看,该地区生态基底脆弱,应强化草原地区保护,恢复和提升草原生态系统功能。对于生态功能整体下降且自然依赖性较强、国土空间功能空间协同效应水平较低的问题,研究区应加快转变经济发展方式,推广生态环保、绿色生产、低耗生活的高质量发展模式。国土空间用途管制是国土空间宏观调控治理和微观精细管理的重要工具[29-30],因此,可通过构建生态安全格局(架构生态安全网络、山水林田湖草沙系统治理)对国土空间进行保护修复。而统筹协调区域功能格局需各旗县在生态共育、产业分工、基础设施等方面展开合作,从而推动区域一体化发展以缩小区域内部差距。

5 结 论

本文对呼包鄂地区国土空间功能演变特征进行分析,基于耦合协调度及双变量空间自相关模型对国土空间功能演变的协同/权衡关系进行评价,得到主要结论如下:

(1) 1990—2018年呼包鄂地区国土空间功能呈现显著的时空分异特征。各旗县生产功能处于扩张态势,空间分布呈现出以各市辖区为高值中心、向外梯度递减的圈层/半圈层格局。生活功能扩张强度高于生产功能,生活功能高值同样集中在各市辖区,空间分布同样呈现以市辖区为中心向外圈层递减的分布规律。生态功能持续下降,其空间集聚性具有自然山水的规模尺度依赖效应。

(2) 1990—2018年呼包鄂地区国土空间功能协同/权衡关系时空分异特征明显。各旗县国土空间功能耦合协调度处于上升态势,协同关系旗县数量增加但整体水平较低。生产-生活功能协同/权衡关系空间集聚效应显著;生产-生态功能协同/权衡关系空间分布趋于离散;生活-生态功能协同/权衡关系空间分布与生产-生态功能趋同。协同/权衡关系空间耦合效应整体处于较低水平。

参考文献(References):

[1] 范辉, 刘卫东, 周颖. 基于结构—功能关系的城市土地集约利用评价——以武汉市中心城区为例[J]. 经济地理, 2013, 33(10): 145-150. [Fan Hui, Liu Weidong, Zhou Ying. Evaluation urban land intensive use based on structure-function relationship: A case study of downtown of Wuhan[J]. Economic Geography, 2013, 33(10): 145-150.]

[2] 周国华, 彭佳捷. 空间冲突的演变特征及影响效应: 以长株潭城市群为例[J]. 地理科学进展, 2012, 31(6): 717-723. [Zhou Guohua, Peng Jiajie. The evolution characteristics and influence effect of spatial conflict: A case study of Changsha Zhuzhou Xiangtan Urban Agglomeration[J]. Progress in Geography, 2012, 31(6): 717-723.]

[3] 冯琰玮, 甄江红, 马晨阳. 内蒙古生态承载力评价及生态安全格局优化[J]. 地理研究, 2021, 40(4): 1096-1110. [Feng Yanwei, Zhen Jianghong, Ma Chenyang. Evaluation of ecological carrying capacity and optimization of ecological security pattern in Inner Mongolia[J]. Geographical Research, 2021, 40(4): 1096-1110.]

[4] 方创琳, 马海涛, 李广东, 等. 城市群地区国土空间利用质量提升理论与技术方法[M]. 北京: 科学出版社, 2017. [Fang Chuanglin, Ma Haitao, Li Guangdong, et al. Theory and Technical Method for Improving the Quality of Land Use in Urban Agglomerations[M]. Beijing: Science Press, 2017.]

[5] 王枫, 董玉祥. 基于灰色关联投影法的土地利用多功能动态评价及障碍因子诊断: 以广州市为例[J]. 自然资源学报, 2015, 30(10): 1698-1713. [Wang Feng, Dong Yuxiang. Dynamic evaluation of land use functions based on gray relation projection method and diagnosis of its obstacle indicators: A case study of Guangzhou city[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(10): 1698-1713.]

[6] 孙丕苓, 许月卿, 刘庆果, 等. 环京津贫困带土地利用多功能性的县域尺度时空分异及影响因素[J]. 农业工程学报, 2017, 33(15): 283-292. [Sun Peiling, Xu Yueqing, Liu Qingguo, et al. Spatiotemporal differentiation and driving factors of multi-functionality of land use in country scale in poverty belt around Beijing and Tianjin[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(15): 283-292.]

[7] 黄金川, 林浩曦, 漆潇潇. 面向国土空间优化的三生空间研究进展[J]. 地理科学进展, 2017, 36(3): 378-391. [Huang Jinchuan, Lin Haoxi, Qi Xiaoxiao. A literature review on optimization of spatial development pattern based on ecological-production-living space[J]. Progress in Geography, 2017, 36(3): 378-391.]

[8] 甄霖, 魏云洁, 谢高地, 等. 中国土地利用多功能性动态的区域分析[J]. 生态学报, 2010, 30(24): 6749-6761. [Zhen Lin, Wei Yunjie, Xie Gaodi, et al. Regional analysis of dynamic land use

functions in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(24): 6749-6761.]

[9] 李欣, 方斌, 殷如梦, 等. 江苏省县域"三生"功能时空变化及协同/权衡关系[J]. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2363-2377. [Li Xin, Fang Bin, Yin Rumeng, et al. Spatial-temporal change and collaboration/trade-off relationship of "production living ecological" functions in county area of Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(11): 2363-2377.]

[10] 李广东, 方创琳. 城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析[J]. 地理学报, 2016, 71(1): 49-65. [Li Guangdong, Fang Chuanglin. Quantitative function identification and analysis of urban ecological-production-living spaces[J]. Acta Geographical Sinica, 2016, 71(1): 49-65.]

[11] 曹根榕, 顾朝林, 张乔扬. 基于POI数据的中心城区"三生空间"识别及格局分析——以上海市中心城区为例[J]. 城市规划学刊, 2019(2): 44-53. [Cao Genrong, Gu Chaolin, Zhang Qiaoyang. Recognition of ecological space, living space, and production space in the urban central area based on POI data: The case of Shanghai [J]. Urban Planning Forum, 2019(2): 44-53.]

[12] 苏迎庆, 刘庚, 赵景波, 等. 基于FLUS模型的汾河流域生态空间多情景模拟预测[J]. 干旱区研究, 2021, 38(4): 1152-1161. [Su Yingqing, Liu Geng, Zhao Jingbo, et al. Multi-scenario simulation prediction of ecological space in the Fenhe River Basin using the FLUS model[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(4): 1152-1161.]

[13] 张衔春, 唐承辉, 岳文泽. 地域重构视角下区域空间生产与治理——以深汕特别合作区为例[J]. 地理科学, 2022, 42(3): 373-380. [Zhang Xianchun, Tang Chenghui, Yue Wenze. Investigating the regional spatial production and regional governance from the perspective of territorial restructuring: A case study of Shenzhen-Shanwei Cooperation Zone[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(3): 373-380.]

[14] 张衔春, 夏洋辉, 单卓然, 等. 粤港澳大湾区府际合作网络特征及演变机制研究[J]. 城市发展研究, 2022, 29(1): 7-14. [Zhang Xianchun, Xia Yanghui, Shan Zhuoran, et al. Characteristics and evolution mechanism of inter-governmental cooperation network of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. Urban Development Studies, 2022, 29(1): 7-14.]

[15] 李伯华, 曾灿, 窦银娣, 等. 基于"三生"空间的传统村落人居环境演变及驱动机制: 以湖南江永县兰溪村为例[J]. 地理科学进展, 2018, 37(5): 677-687. [Li Bohua, Zeng Can, Dou Yindi, et al. Change of human settlement environment and driving mechanism in traditional villages based on living-production-ecological space: A case study of Lanxi village, Jiangyong county, Hunan Province [J]. Progress in Geography, 2018, 37(5): 677-687.]

[16] 李双成, 张才玉, 刘金龙, 等. 生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题[J]. 地理研究, 2013, 32(8): 1379-1390. [Li Shuangcheng, Zhang Caiyu, Liu Jinlong, et al. The tradeoffs and synergies of ecosystem services: Research progress, development trend, and themes of geography[J]. Geographical Research, 2013, 32(8): 1379-1390.]

[17] Zhang Y N, Long H L, Tu S S, et al. Spatial identification of land use functions and their trade-offs/synergies in China: Implications for sustainable land management[J]. Ecological Indicators, 2019, 107: 1100-1114.

[18] 王枫, 董玉祥. 基于灰色关联投影法的土地利用多功能动态评价及障碍因子诊断——以广州市为例[J]. 自然资源学报, 2015, 30(10): 1698-1713. [Wang Feng, Dong Yuxiang. Dynamic evaluation of land use functions based on gray relation projection method and diagnosis of its obstacle indicators: A case study of Guangzhou City[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(10): 1698-1713.]

[19] 魏超. 基于生态文明理念的国土空间利用协调发展研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2019. [Wei Chao. Research on Coordinated Development of Land Spatial Utilization Based on the Concept of Ecological Civilization: A Case Study of Hubei Province[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2019.]

[20] 宋永永, 薛东前, 夏四友, 等. 近40 a黄河流域国土空间格局变化特征与形成机理[J]. 地理研究, 2021, 40(5): 1445-1463. [Song Yongyong, Xue Dongqian, Xia Siyou, et al. Change characteristics and formation mechanism of the territorial spatial pattern in the Yellow River Basin from 1980 to 2018, China[J]. Geographical Research, 2021, 40(5): 1445-1463.]

[21] 冯琰玮, 甄江红, 峰一, 等. 干旱区城市增长边界划定方法与实证——以内蒙古呼和浩特市为例[J]. 经济地理, 2019, 39(3): 76-83. [Feng Yanwei, Zhen Jianghong, Feng Yi, et al. Method and demonstration of urban growth boundary delimitation in arid regions: A case study of Hohhot City, Inner Mongolia[J]. Economic Geography, 2019, 39(3): 76-83.]

[22] 杨宇. 多指标综合评价中赋权方法评析[J]. 统计与决策, 2006 (13): 17-19. [Yang Yu. Evaluation and analysis of weighting methods in multi index comprehensive evaluation[J]. Statistics and Decision, 2006(13): 17-19.]

[23] 苏为华. 多指标综合评价理论与方法问题研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2000. [Su Weihua. Research on Theory and Method of Multi Index Comprehensive Evaluation[D]. Xiamen: Xiamen University, 2000.]

[24] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析[J]. 自然资源学报, 2005, 30(1): 105-112. [Liu Yaobin, Li Rendong, Song Xuefeng. Analysis of coupling degrees of urbanization and ecological environment in China[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 30(1): 105-112.]

[25] 王少剑, 方创琳, 王洋. 京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度[J]. 生态学报, 2015, 35(7): 2244-2254. [Wang Shaojian, Fang Chuanglin, Wang Yang. Quantitative investigation of the interactive coupling relationship between urbanization and eco-environment[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(7): 2244-2254.]

[26] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与

格局演化[J]. 地理研究, 2018, 37(6): 1100−1114. [Wang Cheng, Tang Ning. Spatio-temporal characteristics and evolution of rural production-living-ecological space function coupling coordination in Chongqing Municipality[J]. Geographical Research, 2018, 37(6): 1100−1114.]

[27] 姚小薇, 曾杰, 李旺君. 武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 249−256. [Yao Xiaowei, Zeng Jie, Li Wangjun. Spatial correlation characteristics of urbanization and land ecosystem service value in Wuhan Urban agglomeration[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(9): 249−256.]

[28] 时振钦, 邓伟, 张少尧. 近25年横断山区国土空间格局与时空变化研究[J]. 地理研究, 2018, 37(3): 607−621. [Shi Zhenqin, Deng Wei, Zhang Shaoyao. Spatial pattern and spatio-temporal change of territory space in Hengduan Mountains region in recent 25 years[J]. Geographical Research, 2018, 37(3): 607−621.]

[29] 张衔春, 唐承辉, 许顺才, 等. 中国城市群空间规划的历史演化与空间逻辑——基于新国家空间视角[J]. 城市规划, 2021, 45(5): 21−29. [Zhang Xianchun, Tang Chenghui, Xu Shuncai, et al. Historical evolution and spatial logic of spatial planning of urban agglomerations in China: From the perspectives of new state space[J]. Urban Planning Review, 2021, 45(5): 21−29.]

[30] 张衔春, 胡国华, 单卓然, 等. 中国城市区域治理的尺度重构与尺度政治[J]. 地理科学, 2021, 41(1): 100−108. [Zhang Xianchun, Hu Guohua, Shan Zhuoran, et al. Rescaling and politics of scale in China's city-regional governance[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(1): 100−108.]

Study on the adaptation of the land's functions and its synergy/trade-off relationship: A case study of Hohhot-Baotou-Ordos region, Inner Mongolia

FENG Yanwei, ZHEN Jianghong

(College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, Inner Mongolia, China)

Abstract: Land expansion is facing problems, such as extensive utilization of resources, destruction of ecological environments, and imbalanced regional development. Clarifying the adaptation of the land's functions is conducive to regional coordinated development. The main contents include evaluating the adaptation of the land's functions in the Hohhot-Baotou-Erdos region in 1990, 2000, 2010, and 2018, and analyzing its temporal and spatial adaptation characteristics. This paper evaluates the synergy/trade-off relationship of the adaptation of the land's functions based on the coupled coordination model and the bivariate spatial autocorrelation model. The main conclusions are as follows: first, the land functions in the region of Hohhot-Baotou-Erdos have significant temporal and spatial differentiation characteristics, the production/living functions rise locally, and the spatial distribution takes each municipal district as the high-value center circle/semi-circle distribution pattern with a decreasing outward gradient; second, the overall trend of the ecological function is continuously downward and its spatial agglomeration has the scale-dependent effect of a natural landscape; third, the synergy trade-off relationship of the spatial-temporal differentiation characteristics of the land's functions are obvious. The coupling coordination degree of land and spatial functions of each flag county has been on the rise from the time sequence adaptation characteristics, and the number of flag counties increases; however, the overall level is low; fourth, the synergy/trade-off relationship of various functions in land space has obvious spatial differentiation characteristics, and this relationship alternately changes with time. The spatial distribution and agglomeration effect of the synergy/trade-off relationship of production and living functions is significant, and the spatial distribution of the this relationship between production/living ecological functions tends to be discrete. Ultimately, the spatial coupling effect of the synergy/trade-off relationship between various functions is at a low level as a whole.

Keywords: land functions; three living spaces; synergy/trade-off relationship; Hohhot-Baotou-Ordos region